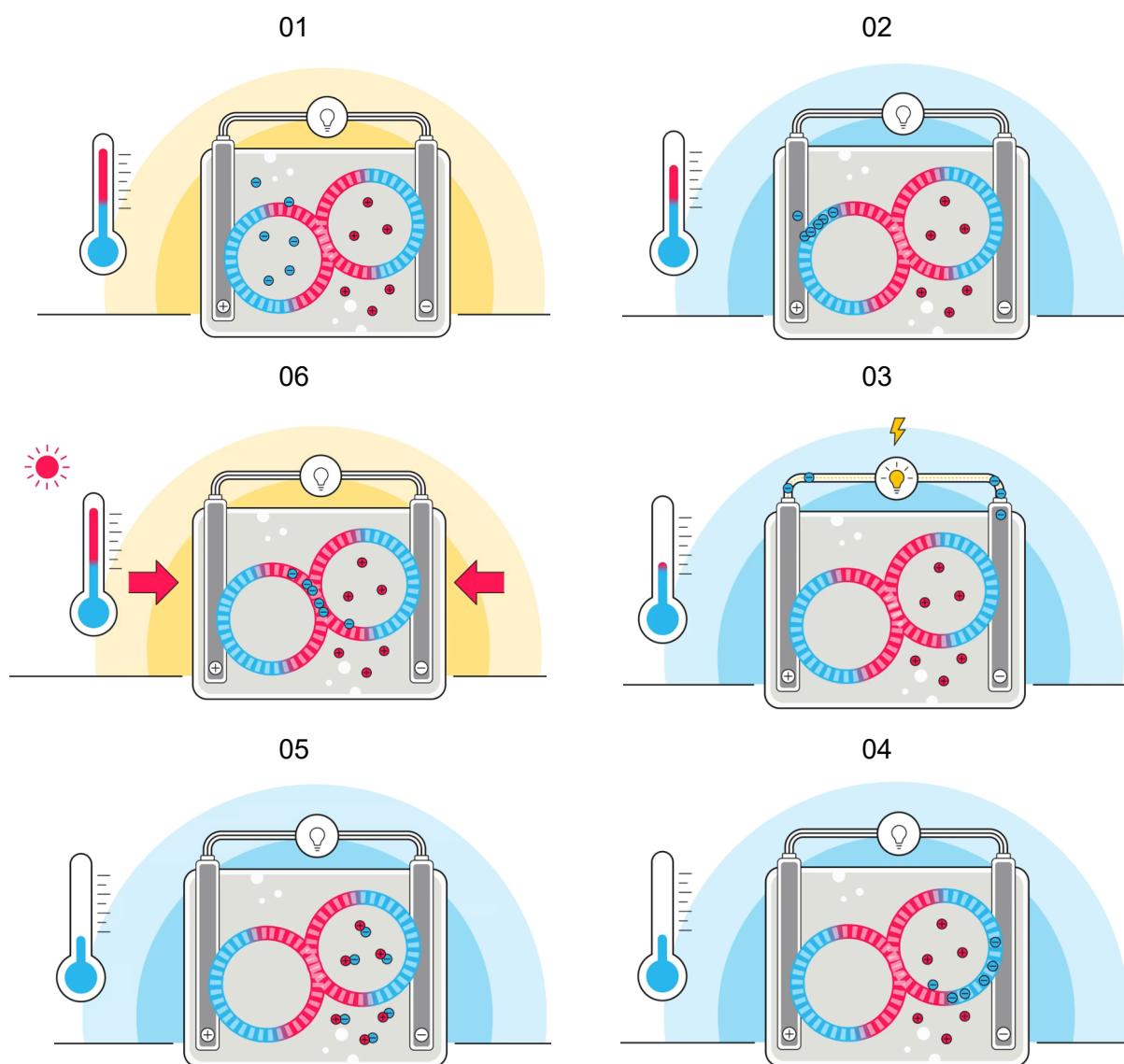


HEIONIT GmbH – An der Trave 2 – 23623 Siblin

20251120

Erklärungsmodell

HFe01ST TEC-G





Erklärungsmodell auf Basis der Messreihen:

Die HEIONTEC TEC-G-Zelle liefert elektrischen Strom in einem sich wiederholenden Kreislauf von Reaktionen. Die Teilschritte sind in den Bildern 1 bis 6 veranschaulicht. Die Bilder sind im Uhrzeigersinn angeordnet. Wir beginnen mit **Bild 1** oben links:

Die TEC-G-Zelle umfasst eine Kohlenstoff-basierte Elektrode (C-Elektrode) und eine Eisen-basierte Elektrode (Fe-Elektrode).

Die Elektroden sind in geschlossenem Gefäß in den Elektrolyten eintauchend angeordnet.

Der Elektrolyt umfasst Fe^{2+} -Ionen, Fe^{3+} -Ionen, H^+ , H_2 und modifizierte Polyole.

Die Polyole sind reduzierend eingestellt, komplexieren die Fe^{3+} -Ionen und können H^+/H_2 aufnehmen und abgeben.

Die Elektroden sind Ionen-selektiv:

Die Fe^{3+} -Komplexe können nur an der C-Elektrode reagieren.

H_2/H^+ kann nur an der Oberfläche der passivierten Fe-Elektrode reagieren.

Die so blockierte Zellreaktion ist von Eisen-Redox-Flow-Batterien als ‚rebalancing‘ bekannt:

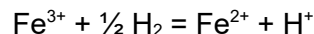


Bild 2: Der Stromkreis wird geschlossen; die Zellreaktion wird nun entlang der blauen Pfade möglich. An ‚+‘ reagiert H_2 , an ‚-‘ reagiert Fe^{3+} :

Bild 3: Von der Fe-Elektrode fließen - unter Zurücklassen von H^+ - die Elektronen des H_2 über den Verbraucher (Glühbirne) zur C-Elektrode zu...

Bild 4: ...den Fe^{3+} -Komplexen; diese werden geöffnet, es entsteht Fe^{2+} und die Komplexe zerfallen unter Anstieg der Entropie im Elektrolyten.

Durch diese Reaktion kühlt sich die Zelle ab, bis an den Elektroden keine Reaktion mehr möglich ist. Der pH-Wert ist links gesunken, die Menge an Fe^{3+} hat rechts abgenommen und die Menge an Fe^{2+} hat rechts zugenommen.

Bild 5: Der Stromkreis wird unterbrochen. H^+ und Fe^{2+} verteilen sich gleichmäßig im Elektrolyten.

Bild 6: Die Zelle nimmt Umgebungswärme auf. Mit Erreichen der Raumtemperatur befindet sich die Zelle nun im Ungleichgewicht: Der pH-Wert ist zu niedrig und die Menge an Fe^{2+} ist zu hoch. Daher können über das Polyol und die Elektroden intern Fe^{3+} -Komplexe und H_2 regeneriert werden (rote Bahnen). pH-Wert und Konzentrationen der Fe-Ionen kehren zum Ausgangswert zurück. Mithin kehrt sich die Zellreaktion um und der Ausgangszustand wird durch die aufgenommene Wärme wieder hergestellt.

Der Kreislauf schließt sich und kann erneut bei Bild 1 beginnen.



Im Vergleich: Etablierte TEC-G-Systeme arbeiten in einem Temperaturgradienten oder erzeugen Energie aus Temperaturschwankungen.

Die HEIONTEC-TEC-G-Zelle funktioniert direkt bei Raumtemperatur mit zyklischem Prozess.

„Zyklische Prozesse“ sind aus dem Bereich chemischer Oszillatoren bekannt; allerdings sind diese nicht regenerierend: Bei chemischen Oszillatoren werden zwei nahezu isoenergetische Zustände über eine dritte, freiwillig ablaufende und endliche Reaktion gekoppelt. Dadurch sind chemische Oszillatoren endlich: Ist die dritte Reaktion abgeschlossen endet die Oszillation.

Die HEIONTEC-TEC-G-Zelle arbeitet zwar auch zyklisch, nutzt aber Wärmezufuhr von außen als Triebkraft. Labormuster zeigen in luftdichter Verpackung über Jahre das hier erläuterte Verhalten. Auch Kurzschluss über mehrere Wochen änderte daran nichts.

Thermodynamisch ist das Verhalten durch einen wesentlichen, entropischen Beitrag erklärbar; es gilt: $dG = dH - d(TS)$.

In Worten: Freie (nutzbare) Gibbs-Energie = Enthalpie – (Temperatur mal Entropie).

Für zwei unterschiedliche Zustände gilt: Nur bei $dG < 0$ wird die Reaktion stattfinden.

Allerdings: Bei großem ΔS von zwei Zuständen kann eine Temperaturschwankung – sei sie extern wie in den bekannten Feststoff-TEC-Systemen oder intern und Reaktions-bedingt wie in den HEIONTEC-Zellen – die notwendige Triebkraft bereitstellen.

Solange die Umgebung Wärme nachliefert, kann Strom immer wieder im Zyklus erzeugt werden. Die HEIONTEC-Zelle kann daher als „thermisch regenerierende, elektro-chemische Zelle“ (TREC) angesehen werden.

Ein 2021 vom FhI KTS Dresden veröffentlichtes, Feststoff-basiertes TEC-System erzeugt zwischen zwei festen Phasen - verbunden über einen Ionenleiter – aus jeder Temperaturschwankung Energie. Aber: Feststoffsysteme sind langsame Ionenleiter; selbst die Peak-Leistungen liegen daher im Mikrowatt-Bereich, hier um 30 Mikrowatt pro cm^2 .

Der HEIONTEC-Elektrolyt ist flüssig und zeigt aktuell um 1mW Peak-Leistung pro Quadratzentimeter Elektrode; das Zelldesign und der Elektrolyt werden mit dem Ziel weiterentwickelt, dies möglichst einfach und unkompliziert in ein verkaufbares, erstes Produkt zu integrieren.

Für kleine Energiemengen/Elektronik werden flüssige Systeme als Energiequelle direkt verwendbar sein; für größere Energiemengen und/oder Kühleffekte sind Zellen mit Speicher sowie großflächige Anwendungen im Industrie-Bereich als mittelfristiges Ziel vorgesehen.